

7-5 降伏現象

実際の pn 接合では逆方向に大きな電圧を印加すると急激に大きな電流が流れる。この現象を**逆電圧降伏(breakdown)**といい、降伏が始まる電圧を**降伏電圧(breakdown voltage)**という。

・電子雪崩降伏 avalanche breakdown

遷移領域中を通過する電子は大きな逆電圧によって加速され大きなエネルギーを持つ。この電子が結晶原子と衝突して原子内の価電子を励起して電子・正孔対を生成する。生成されたキャリアもまた加速して同じように原子から電子を引き離すため、ネズミ算式にキャリアが増加する (Fig.1)。この機構を**電子雪崩**という。

$$I = \frac{I_{R0}}{1 - \left(\frac{V}{V_B}\right)^n}$$

・ツェナー降伏 Zener breakdown

逆電圧が大きくなると、遷移領域での p 領域の価電子帯と n 領域の伝導帯との距離が近くなり、p 領域価電子帯の電子が量子力学的な**トンネル効果(tunnel effect)**により n 領域伝導帯に通り抜けるようになる (Fig.2)。トンネル効果による電流の増大を**ツェナー降伏**という。

半導体の不純物密度が高い場合は、遷移領域の幅は小さくなるのでツェナー降伏の方が起きやすくなる。反対に、不純物密度が低い場合は、遷移領域の幅が広がるのでツェナー降伏が生じにくくなり、電子雪崩降伏が支配的となる。Fig.3 に電子雪崩およびツェナー降伏の温度依存性を示す。一般に温度が高くなると禁制帯幅 E_g は小さくなり、トンネル現象が生じやすくなる。また、温度の増大に従って格子振動が激しくなりキャリアの移動度が小さくなるため、電子雪崩は起きにくくなる。

最後に pn 接合の応用例を挙げる。

- ・ 整流性 …… pn 接合ダイオード、nnp/pnp トランジスタ(バイポーラトランジスタ)
- ・ 負性抵抗 …… エサキダイオード(トンネルダイオード)、サイリスタ(pnpn ダイオード)
- ・ 空乏層 …… 可変容量ダイオード、接合型電界効果トランジスタ
- ・ 発 光 …… 発光ダイオード(LED)、半導体レーザ(LD)
- ・ 受 光 …… 太陽電池、フォトダイオード

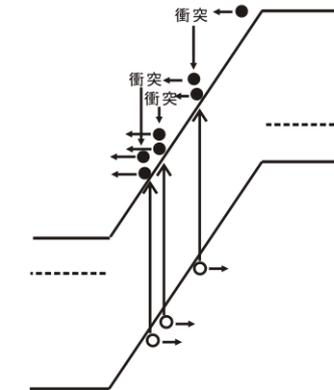
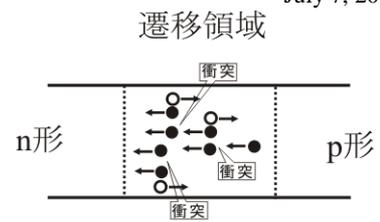


Fig.1 電子雪崩降伏

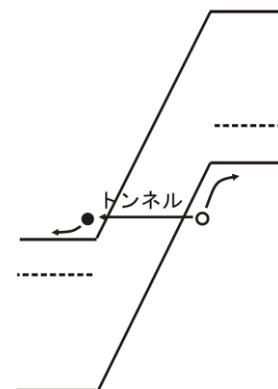


Fig.2 トンネル効果

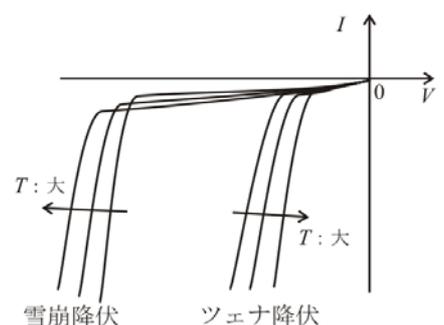


Fig.3 降伏現象の温度依存性